

Литература

1. Hufnagel L., Canton J., Örlü R., Marin O., E. Merzari, Schlatter P. The three-dimensional structure of swirl switching in bent pipe flow. J. Fluid Mech., 835, 2018, Pages 86-101
2. Röhrli R., Jakirlić S., Tropea C. Comparative computational study of turbulent flow in a 90° pipe elbow. International Journal of Heat and Fluid Flow, 55, October 2015, Pages 120-131
3. Zhixin Wang., Ramis Örlü, Philipp Schlatter, Yongmann M.Chun, Direct numerical simulation of a turbulent 90° bend pipe flow. International Journal of Heat and Fluid Flow, 73, October 2018, Pages 199-208

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН ИНТЕРПОЛИРОВАНИЯ В ВОПРОСАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЁТОВ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Д. В. Ефимов**

Научный руководитель - доцент О. В. Брусник

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Применение сплайн-интерполяции при построении модели позволяет увеличить точность расчётов по естественным причинам. Анализ конструкций с использованием МКЭ является в настоящее время основным инструментом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Целью работы является получение 3D - модели исследуемого участка с дефектами внутренней части, а также анализ, полученных в ходе моделирования данных. На основании полученной информации можно сделать вывод о том, допустима ли дальнейшая эксплуатация этого участка или его следует заменить.

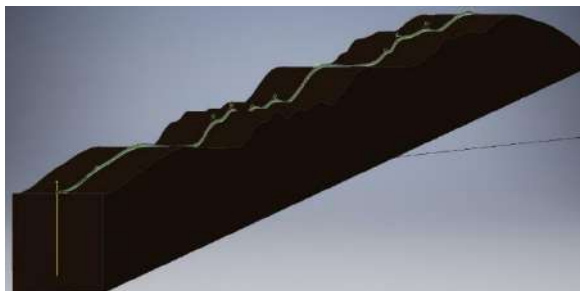
Существует множество исследований НДС прямолинейных участков трубопровода, однако они не затрагивают истинную геометрию модели и не учитывают грунт при расчёте. Надежность нефтепровода зависит от множества различных факторов, негативно влияющих как на их состояние в целом, так и на отдельные участки. Обычно, это большие значения напряжений по Мизесу в районах коррозионных повреждений. В процессе длительной эксплуатации магистральных трубопроводов их внутренняя поверхность подвержена образованию дефектов, которые приводят к утонению стенок. Регулярный контроль напряжённо деформированного состояния трубопровода является неотъемлемой частью его долгой и безопасной эксплуатации. Появление дефектов приводит к ухудшению характеристик конструкции и увеличивает риск аварии [1]. Одним из способов контроля напряжённо-деформированного состояния трубопровода является расчёт напряжений при помощи МКЭ. Основной проблемой данного метода является отсутствие стандартов. Это, в свою очередь, ведёт тому, что компании, занимающиеся обслуживанием линейной части трубопровода вынуждены выбирать способы расчёта и нести ответственность за его эффективность. В настоящей работе в отличие от общепринятого подхода предлагается выполнить анализ напряжений на построенной модели в среде inventor.

**Таблица 1**

**Общие характеристики и параметры исследуемого участка трубопровода**

| Диаметр трубопровода (наружный), мм | Толщина стенки трубы, мм | Проблемный участок (отметка), м | Трубопровод изготовлен из стали | Рабочее давление, МПа |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1240                                | 10                       | 159                             | 17Г2С                           | 4                     |

Модель представляет собой сдвиг по траектории, являющейся профилем в масштабе 1:1 (рис. 1). Перенос профиля в траекторию напрямую невозможен из-за отсутствия возможности экспорта значений высот. Поэтому, средствами векторной графики профиль был оттрассирован и переведён в нужный масштаб. При съёме высот в среде Inventor было применено сплайн-интерполирование, результатом которого стала непрерывная траектория трубопровода. Далее, были построены грунт и трубопровод. Благодаря данным, полученным в ходе внутритрубной диагностики, нанесены дефекты линейной части, с учётом их размеров и расположения.



**Рис.1 Общий вид модели**

# СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Чаще всего, они представляют собой потерю металла, которая в модели представлена в виде локального утонения стенки с внутренней части. В качестве исходных данных напряженно-деформированного состояния трубопровода в работе было использовано типичное проектное решение, основанное на технических требованиях СНиП 2.05.06-85. При выполнении моделирования соблюдалось максимальное количество реальных условий для получения достоверной картины. В то же время ни процесс построения, ни процесс моделирования не являются чрезмерно кропотливыми и долгими, что в некоторых ситуациях может быть актуально в текущей ситуации.

Итогом работы стал анализ данных, полученных в результате моделирования. Наиболее важные из них: максимальное и минимальное смещения, максимальное и минимальное напряжение по Мизесу. Все значения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Общие характеристики и параметры исследуемого участка трубопровода

| Имя                      | Минимальная                 | Максимальная |
|--------------------------|-----------------------------|--------------|
| Объем                    | 2,70028E+13 мм <sup>3</sup> |              |
| Масса                    | 25739300 кг                 |              |
| Напряжение по Мизесу     | 0,00284122 МПа              | 355,102 МПа  |
| 1-ое основное напряжение | -20,9504 МПа                | 272,363 МПа  |
| 3-е основное напряжение  | -216,48 МПа                 | 89,9848 МПа  |
| Смещение                 | 0 мм                        | 0,734551 мм  |
| Коэфф. запаса прочности  | 0,776678 бр                 | 15 бр        |

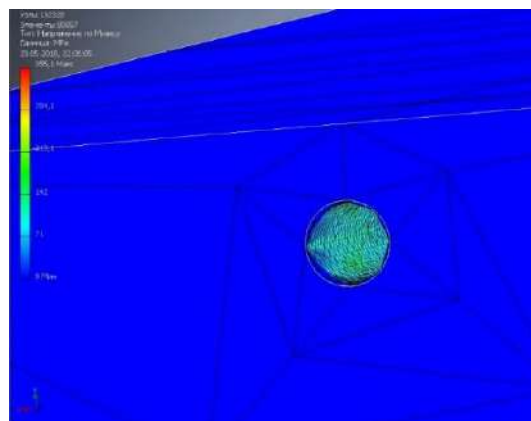
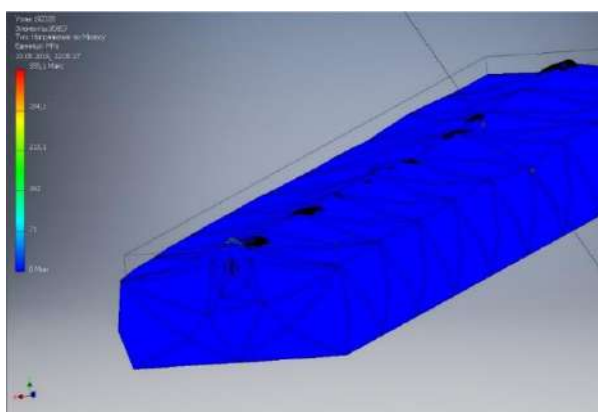


Рис.2 Совместный расчёт трубы и грунта

Трубопровод выдерживает данную нагрузку с коэффициентом прочности 1.6. Несмотря на это, необходим постоянный мониторинг его состояния, а в последующем, замена.

Результаты, полученные таким методом, позволяют сделать вывод о запасе прочности конструкции, работающей под нагрузкой. Простота, низкая требовательность к исходным данным и высокая точность метода МКЭ делают его универсальным средством для расчётов любых сооружений и механизмов.

## Литература

1. Рудаченко А.В., Саруев А.Л. Исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов.- Издательство ТПУ, 2011. - 136 с.
2. СНиП 2.05.06-85\* – «Магистральные трубопроводы».
3. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://metallcheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/17G2S](http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/17G2S) - сталь марки 17Г2С (Дата обращения: 17.07.2016).
4. Яваров А.В. Геометрически нелинейная стержневая модель в задачах расчета подземных трубопроводов - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, на правах рукописи. Санкт-Петербург – 2013.
5. Эндель Н.И. Структурные факторы коррозионной стойкости сталей для нефтепромысловых трубопроводов: диссертация кандидата технических наук: 05.16.01 – Москва 2011 – 20 с.
6. Ефимов Д. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода и прогнозирование изменения прочностных характеристик. Бакалаврская работа. 18.06.18 – Томск – 68 с.